

Über den Einfluß des Rohrposttransportes auf klinisches Untersuchungsmaterial unter verschiedenen Betriebsbedingungen

Von A. DELBRÜCK und H. POSCHMANN

Aus dem Zentrallaboratorium der Med. Klinik der Med. Hochschule Hannover (Direktor: Prof. Dr. F. Hartmann) und der Rohrpostabteilung der Standard Elektrik Lorenz AG, Berlin-Schöneberg

(Eingegangen am 27. September 1967)

In einer Rohrpostversuchsanlage wurde unter verschiedenen Betriebsbedingungen der Einfluß der während des Transportes auftretenden mechanischen und kinetischen Faktoren auf Untersuchungsgut für das klinische Laboratorium untersucht.

Das Ausmaß einer transportbedingten Hämolyse hängt im wesentlichen von der Füllungshöhe der Probenröhrchen ab. Kontrollierte Transportbedingungen erlauben einen störungsfreien Transport ohne Auftreten von nennenswerten Hämolysen. In Testreihen wurde für 33 klinisch-chemische bzw. hämatologisch-serologische Analysenverfahren keine Einschränkung der Zuverlässigkeit der Meßergebnisse gefunden. Für den Transport von Laboratoriumsmaterial empfiehlt sich eine 124 mm Rohrpostanlage, die mit 3 m/Sek. Fahrgeschwindigkeit ohne Weichen, Klappen, Zentrale usw. arbeitet.

With the aid of an experimental pneumatic installation, the mechanical and kinetic effects of transport by pneumatic post were studied on experimental clinical material. The extent of hemolysis caused by transport depends chiefly on the level to which the sample tube is filled. Under certain predetermined conditions, the transport has no effect and there is no significant hemolysis. In a series of 33 clinical chemical or hematological-serological analyses, there was no decrease in the dependability of the results. For the pneumatic transport of laboratory material, a 124 mm. tube with no deflectors, flaps, central-deflectors etc. is recommended, which carries material at the rate of 3 m/sec.

Die schnelle Anlieferung qualitativ unveränderten Untersuchungsmaterials ist von ausschlaggebender Bedeutung für die Arbeit im klinisch-chemischen Laboratorium. Es erscheint daher vorteilhaft, anstelle des herkömmlichen Hol- und Bringendienstes eine der heute zur Verfügung stehenden mechanischen Transporteinrichtungen zu benutzen, deren Betriebsbedingungen einer exakten Kontrolle zugänglich sind. Unter diesen mechanischen Transportsystemen steht uns in der Rohrpost ein über Jahrzehnte hin bewährtes, zuverlässiges und schnelles Transportmittel zur Verfügung. Jedoch wurden gegen die Benutzung einer Rohrpost zum Transport von Laboratoriumsmaterial eine Reihe von Einwänden erhoben. Unter anderem wurde auf eine transportbedingte Verfälschung der Analyseergebnisse infolge Hämolyse in Vollblutproben, Denaturierung biologischer Eiweißkörper oder auch auf Verunreinigung der Rohrpostanlage durch Behälterbruch hingewiesen. Erste Daten über den Einfluß des Rohrposttransportes auf Untersuchungsmaterial, insbesondere über das Auftreten einer Hämolyse wurden 1964 von McCLELLAN und Mitarbeitern berichtet (1). Die Ergebnisse dieser Autoren veranlaßten uns, den Einfluß der verschiedenen Faktoren, welche während des Rohrposttransportes auf das Material einwirken, einer detaillierteren Untersuchung zu unterwerfen, um Rohrpostbetriebsbedingungen zu finden, welche einen störungsfreien Transport des Untersuchungsgutes von den Stationen zum Laboratorium ermöglichen. Zu diesem Zweck wurde eine Rohrpostversuchsanlage mit variierbaren Betriebsbedingungen eingerichtet, Untersuchungsgut unter verschiedenen Transportbedingungen versandt und anschließend einer breiten klinisch-chemischen und hämatologisch-serologischen Prüfung unterzogen.

Methoden und Material

Rohrpostversuchsanlage (Standard Elektrik Lorenz AG, Berlin). 20 m vertikal, 20 m horizontal und 20 m in Krümmungen (1,5 m Radius) als geschlossenes Rohrsystem verlegte Fahrrohrleitung mit einem inneren Durchmesser von 100 mm. Weichen- und Ausfahreinheit mit 90° horizontaler Ablenkung zur Imitation von Weichenpassagen. Saugluftbetrieb mit 1,1 m Wassersäule maximaler Druckdifferenz, durch 1,5 kw 3-Phasenmotor angetriebenes Gebläse mit 5 m³/Min. Luftumwälzungsvermögen. Variation der Fahrgeschwindigkeit von 1–8 m/Sek. durch eine verstellbare Drosselklappe. Durch das Kreissystem von 60 m Länge ergab sich eine unbegrenzte Variation der Fahrstreckenlänge (Abb. 1a).

Versandbüchsen aus Kunststoff, Verschuß durch Hartgummideckel mit Druckknopf. Bakeliteinsätze zur Aufnahme der Probegefäße

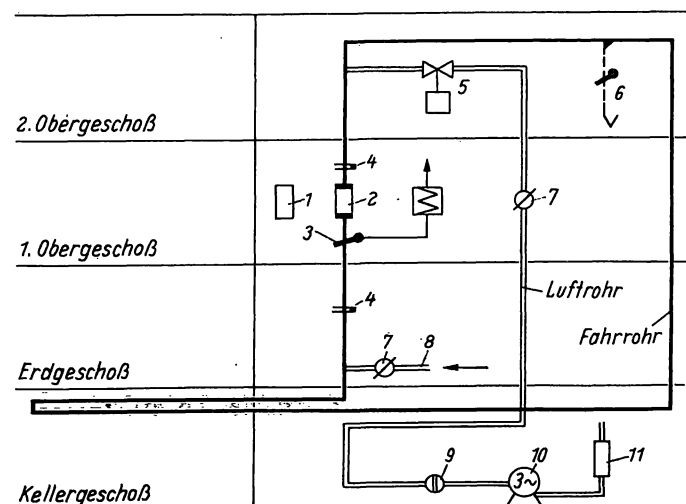


Abb. 1a

Schaltbild der Rohrpostversuchsanlage. Jeder Fahrrohrbogen hat einen Radius von 1,5 m

1 Steuergerät; 2 Schiebeseider; 3 elektromagnetisch gesteuerte Zwischenklappe; 4 Rohrkontakt; 5 Elektroventil; 6 Waagerechte Weiche mit Zwischenklappe und Ausfahrshuh; 7 Drosselklappe zum Einstellen der Fahrgeschwindigkeit; 8 Luftansaugrohr; 9 Luftfilter; 10 Gebläseanlage; 11 Schalldämpfer

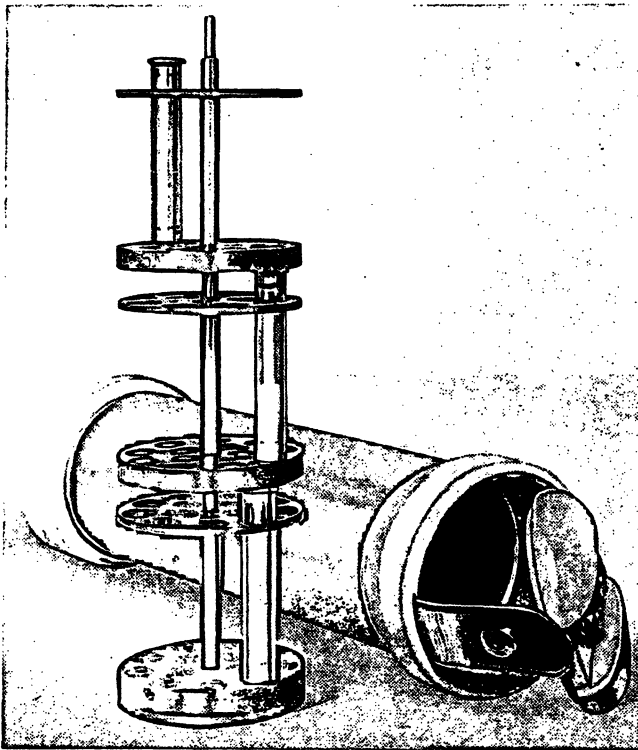


Abb. 1b

Rohrposttransportbüchse mit Einsatzstab zur Aufnahme von 3 Haltern für jeweils 13 Versandröhrchen (15 ml) bzw. 3 Sputumgefäßen (30 ml)

auf zentraler Schiene übereinander angeordnet zur Erleichterung der Be- und Entladung (Abb. 1b).

Proberöhrchen, 15 ml fassend, aus Glas oder Kunststoff durch Kunststoffstopfen mit glatter innerer Oberfläche verschlossen, sowie Kunststoffbüchsen 30 ml Inhalt zur Aufnahme von Stuhl, Sputum und ähnlichem Material.

Durchführung der Versuchsreihen

Nativ- und Citratblutproben gesunder Blutspender und eine Reihe pathologisch veränderter Blutproben wurden unter verschiedenen Betriebsbedingungen in der Rohrpost transportiert. Für jeden Versuch wurden Vergleichsproben angesetzt, die zur gleichen Zeit entnommen, zentrifugiert und analysiert wurden wie die Proben, welche dem Rohrposttransport unterworfen waren. Um mögliche Varianten in den mechanischen Faktoren während der einzelnen Rohrpostläufe zu erfassen, wurden Parallelproben in jeweils verschiedenen Testläufen in der Rohrpost transportiert.

Zur Erfassung der Hämolyse wurden im Serum bzw. Plasma Hämoglobin (Mikrobestimmung mit Benzidin (2, 3)), Lactatdehydrogenase¹⁾, Glucose-6-phosphatdehydrogenase, Pyruvatkinase und Glutathionreduktase (4), sowie Kalium bestimmt.

¹⁾ Abkürzungen und Enzyme:

LDH: Lactatdehydrogenase (EC 1.1.1.27 L-Lactat: NAD Oxydoreduktase).

G-6-PDH: Glucose-6-Phosphatdehydrogenase (EC 1.1.1.49 D-Glucose-6-Phosphat: NADP Oxydoreduktase)

PK: Pyruvatkinase (EC 2.7.1.40 ATP: Pyruvattransferase)

GR: Glutathionreduktase (EC 1.6.4.2 NAD(P)H₂: Glutathion Oxydoreduktase)

GOT: Glutamatoxalacetattransaminase (EC 2.6.1.1. L-Aspartat: 2 Oxoglutarat Aminotransferase)

GPT: Glutamatpyruvattransaminase (EC 2.6.1.2. L-Alanin: 2 Oxoglutarat Aminotransferase)

GLDH: Glutamatdehydrogenase (EC 1.4.1.2. L-Glutamat: NAD Oxydoreduktase (desaminierend))

CPK: Creatinphosphokinase (EC 2.7.3.2. ATP: Creatin Phosphotransferase)

Der Einfluß des Rohrposttransportes auf die Zuverlässigkeit klinisch-chemischer Analysen wurde an folgenden weiteren Testverfahren geprüft: Glutamatoxalacetattransaminase, n = 10, Glutamatpyruvattransaminase, n = 9, Glutamatdehydrogenase, n = 9, Creatinphosphokinase, n = 8, Saure Phosphatase, n = 10 (I)²⁾, Alkalische Phosphatase, n = 10 (5), α -Amylase, n = 10 (6), Kalium, n = 19, Natrium, n = 19, Calcium, n = 10, (flammenphotometrische Bestimmung), Eisen, n = 18 (II), Chlorid, n = 18 (III), Anorganisches Phosphat, n = 10 (6), Bilirubin, n = 10 (7), Cholesterin, n = 10 (IV), Kreatinin, n = 10 (8), Harnstoff, n = 9 (I), Harnsäure, n = 10 (V), Eiweiß, n = 10 (9), Elektrophorese der Serumweißkörper, n = 10 (10, VI).

Hämatologisch-serologisch wurden geprüft: Blutzellenzählung aus versandter Kochsalzverdünnung im Coulter Counter, n = 20 (VII), Thrombocyten, n = 8, Prothrombinzeit, n = 10 (VIII), Thrombinzeit, n = 10 und Faktor V, n = 10 (IX). Antistreptolysintiter, n = 10 (11) und Rheumafaktor, n = 10 (12), Blutgruppen, n = 10.

Die Temperaturkontrolle wurde im Inneren des Transportbehälters durch Mitführen eines Maximumthermometers in einem wassergefüllten Transportgläschen über eine Fahrstrecke von 1,2 km bei maximaler Geschwindigkeit vorgenommen.

Ergebnisse

Während des Transportes wurde in den Rohrposttransportbehältern eine Maximaltemperatur von 22° gemessen. Ein Bruch der Transportgefäße, Austritt von Untersuchungsgut an den Verschlusskappen und eine damit verbundene Verunreinigung der Transportbehälter oder des Rohrpostsystems wurde in keinem der Testläufe beobachtet.

Für die Untersuchungen über den Grad der während des Transportes von Vollblut oder Citratblut auftretenden Hämolyse erwies sich die Hämoglobinkonzentration im Serum als der empfindlichste Parameter, während LDH, G-6-PDH und Kalium erst bei stark sichtbaren Hämolyse signifikant erhöht im Serum auftraten. Das Ausmaß der Hämolyse war vorwiegend von dem Grad der Füllung der versandten Proberöhrchen abhängig (Abb. 2). Sowohl beim Transport von Nativblut wie von Citratblut fand sich eine deutliche Zunahme der Hämoglobinkonzentration im Serum nur dann, wenn die Gefäße nicht vollständig gefüllt transportiert wurden. Eine nennenswerte Zunahme der Hämoglobinkonzentration im Serum bzw. im Plasma wurde nicht beobachtet, wenn die Röhrchen bis zum Verschlussstopfen gefüllt dem Transport unterworfen wurden. Dies gilt in gleichem Maße für eine Fahrgeschwindigkeit von 3 m/Sek. ohne Passieren von Weichen wie für eine Fahrgeschwindigkeit

s. P'ase: Saure Phosphatase (EC 3.1.3.2. Orthophosphorsäure Monoester Phosphohydrolase)

alk. P'ase: Alkalische Phosphatase (EC 3.1.3.1. Orthophosphorsäure Monoester Phosphohydrolase)

α -Amylase: (EC 3.2.1.1. α -1,4-Glucan-4-glucanohydrolase)

Arginase: (EC 3.5.3.1. L-Arginin Amidinohydrolase)

²⁾ Bezugsquellen:

I. C. F. Boehringer & Soehne GmbH, Mannheim

II. Schweizerhall Chem. Fabrik, Basel/Schweiz

III. E. Merck AG, Darmstadt

IV. Hyland Laboratories, Los Angeles, Cal./USA

V. Sigma Chem. Corp. St. Louis, Miss./USA

VI. Technicon Corp., Chauncey, N. Y./USA

VII. Coulter Electronics, Ltd. St. Albans, Herts/England

VIII. General Diagnostic Division, Warner-Chilcott Laboratories Division, Morris Plains, N. J./USA

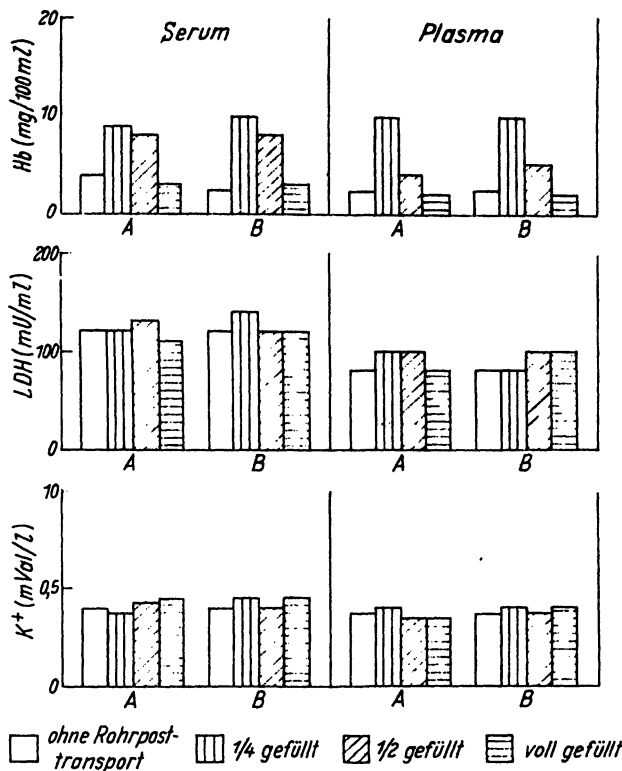


Abb. 2

Einfluß des Füllungsgrades der Probenröhrchen auf die Hämolysen:

A: 3 m/Sek. Geschwindigkeit, keine Weichen (n = 3)
B: 8 m/Sek. Geschwindigkeit, 10 Weichen (n = 3), Fahrstrecke 600 m

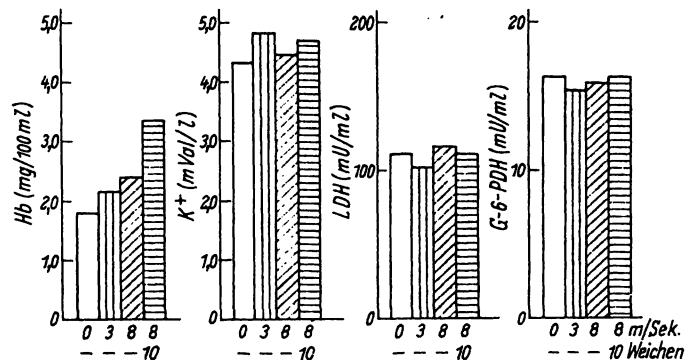


Abb. 3

Einfluß von Weichen und Fahrgeschwindigkeit auf Vollblut während des Rohrposttransportes: Serumspiegel von Hämoglobin, Kalium, Lactat-Dehydrogenase und Glucose-6-phosphat-Dehydrogenase vor und nach Rohrposttransport. Proberöhrchen bis zum Stopfen gefüllt (n = 6)

keit von 8 m/Sek. bei gleichzeitigem Passieren von 10 Weichen. Im Gegensatz zur Hämoglobinkonzentration im Serum blieben LDH und Kalium-Werte auch bei Versand unvollständig gefüllter Proberöhrchen unbeeinflusst vom Rohrpostversuch.

Zunehmende Fahrgeschwindigkeit und Stoßeffekte durch Passieren von Weichen verursachen nur eine geringe Zunahme der Hämolysen bei randvoll gefüllten Proberöhrchen (Abb. 3). Zwar steigen die Hämoglobinwerte im Serum etwas an, bleiben jedoch sämtlich im Normalbereich, der von 0–5 mg/100 ml angegeben wird (1). Wie zu erwarten, finden sich keine Anstiege der Kaliumkonzentration oder der LDH- bzw. G-6-PDH-Aktivitäten. Bei einer Fahrgeschwindigkeit von 2 m/Sek. wurde keine mit der Länge der durchfahrenen Strecke

zunehmende Hämoglobinkonzentration im Serum für einen Streckenbereich von 0–1,2 km beobachtet, während bei einer Geschwindigkeit von 8 m/Sek. die Hämoglobinkonzentration im Serum bei 60 m Streckenlänge um 65%, bei 600 m Streckenlänge um 100% und bei 1,2 km Streckenlänge um 300% zunahm (n = 6).

Unter Standardbedingungen — Fahrgeschwindigkeit 3 m/Sek., 600 m Fahrstrecke, kein Passieren von Weichen — wurde in Serienversuchen das Ausmaß der

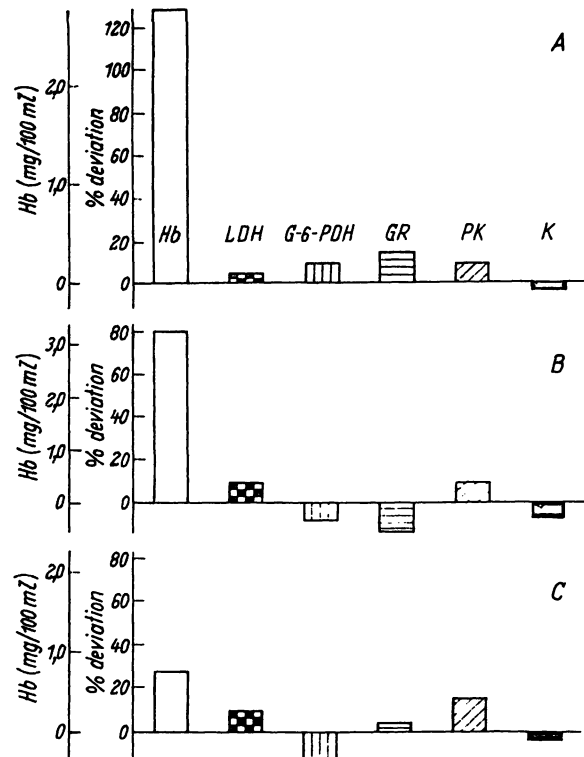


Abb. 4

Rohrposttransport von pathologisch veränderten Blutproben (A, n = 29), Normalblutproben verschiedener Personen (B, Hb n = 61) LDH n = 21, GR n = 26, PK n = 36, Kalium n = 49) und Blutproben eines Spenders, die in 18 verschiedenen Läufen die Rohrpost durchlaufen haben (C)

Serumspiegel von erythrocyteneigenen Substanzen dargestellt als prozentuale Abweichungen von den nicht transportierten Vergleichswerten. Hämoglobinwerte zusätzlich absolut in mg/100 ml dargestellt

Hämolysen in Proben einer Gruppe gesunder Personen (n = 61), in einer Gruppe krankhaft veränderter Seren¹, (n = 29) und an Proben eines Blutspenders (n = 18), miteinander verglichen (Abb. 4).

Die Ergebnisse sind als prozentuale Abweichungen von den Kontrollwerten, die an nicht transportierten Proben ermittelt wurden, angegeben, um einen gemeinsamen Bezugspunkt zu erhalten. Die absolute Konzentration des Hämoglobins macht den Grad des Hämoglobinaustrittes aus den Erythrocyten deutlich. Alle Hämoglobinwerte im Serum lagen im Bereich von 0–3 mg/100 ml. Die Abweichungen von LDH, G-6-PDH, GR, PK und

¹) Magencarcinom, Bronchopneumonie, Adipositas, Cholecystitis, primär-chronische Polyarthrit, Niereninsuffizienz, Polycythämie, Tumoranämie, extrem erhöhte Blutsenkungsgeschwindigkeit, myeloische Leukämie, Gelbsucht bei Gallenblasenerkrankung, Gelbsucht bei Hepatitis, Asthma bronchiale, perniciose Anämie, Herzinfarkt.

Kalium bewegten sich im Bereich der Schwankungsbreite der Methoden. Die Hämoglobinkonzentration im Serum war sowohl in den Proben von Normalpersonen wie in den Proben krankhaft veränderten Blutes höher als in den Parallelversuchen mit Spenderblut. Diese Unterschiede sind darauf zurückzuführen, daß bei den Versuchen am Spenderblut im Gegensatz zu den beiden anderen Gruppen alle Röhrchen gleichmäßig bis zum Rand gefüllt werden konnten. Obwohl aufgrund des unterschiedlichen Füllungsgrades der transportierten Blutproben keine optimalen Transportbedingungen vorlagen, war die durchschnittliche Konzentration des Hämoglobins im Serum der beiden Untersuchungsgruppen nur halb so groß wie diejenige, die wir in einer unausgewählten Gruppe von Blutproben fanden, die auf herkömmliche Weise ins Laboratorium transportiert wurden (Tab. 1).

Tab. 1

Mittlere Serumhämoglobinkonzentration in normalen und pathologisch veränderten Blutproben vor und nach Rohrposttransport im Vergleich zu einer unausgewählten Gruppe von Serumproben aus dem täglichen Laboratoriumseingang (Hol- und Bringediens)

	Hämoglobin in mg/100 ml	Anzahl der Proben
Unausgewählte Serumproben aus dem täglichen Laboreingang kein Rohrposttransport	7,85	44
Normalblutproben { ohne Transport	2,2	26
{ mit Transport	3,0	86
Pathologisch veränderte Blutproben { ohne Transport	2,7	22
{ nach Transport	3,0	29

Die klinisch-chemische Untersuchung der transportierten normalen wie pathologisch veränderten Blutproben ergab keine Abweichungen der Meßwerte in den eingangs angeführten Analyseverfahren von denjenigen, die an den nicht transportierten Vergleichsproben ermittelt wurden (Tab. 2). Auch bei der Ermittlung hämatologisch-serologischer Laboratoriumsdaten fanden sich keine signifikanten Abweichungen in den Ergebnissen (Tab. 3). Es wurden jeweils 10 bzw. 20 Parallelversuche für jeden der oben angeführten Tests durchgeführt. Der Transport von Blutkonserven führt, wie zu erwarten, zu einer wesentlich stärkeren Schädigung der Erythrocyten mit Austritt von erythrocyteneigenen Komponenten in das Serum als es bei Nativ- oder Citratblut der Fall ist (Abb. 5). Hämoglobin, LDH und Kalium zeigen einen deutlichen Anstieg ihrer Konzentrationen im Überstehenden der Konserven in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, Streckenlänge und Anzahl der

Tab. 2

Einfluß von Rohrposttransport auf die Ergebnisse klinisch-chemischer Blutuntersuchungen.
Fahrgeschwindigkeit 3 m/Sek., 600 m Streckenlänge, keine Weichen

Art der Bestimmung	Meßergebnis ohne Rohrposttransport	Meßergebnis mit Rohrposttransport	Anzahl der transp. Proben
Enzyme	mU/ml	mU/ml	
GOT	8,6	9,7 ± 1,2	10
GPT	13,5	14,5 ± 2,5	9
GLDH	0,9	0,6 ± 0,2	9
alk. P'ase	33	28 ± 3	10
saure P'ase	9,3	8,4 ± 1,8	10
LDH	105	106 ± 9	21
CPK	3,7	4,5 ± 2	8
Elektrolyte	mVal/l	mVal/l	
Na	140	141 ± 1	19
K	3,5	3,4 ± 0	19
Ca	4,75	4,7 ± 0,1	10
Cl	100	107 ± 38	18
PO ₄	3,0	2,9 ± 0,5	10
Substrate	mg/100 ml	mg/100 ml	
Bilirubin	0,45	0,39 ± 0,2	10
Harnstoff	45,2	46,7 ± 5,4	9
Harnsäure	4,5	4,7 ± 0,03	10
Kreatinin	1,03	1,02 ± 0	10
Cholesterin	279	269 ± 12	10
Fe	91 · 10 ⁻³	104 ± 8 · 10 ⁻³	18
Ges. Eiweiß	g/100 ml	5,7 ± 0,14	10
Elektrophorese			
Alb. rel. %	55	58	10
Glob. α ₂ rel. %	5	4,4	10
Glob. α ₃ rel. %	4	2,6	10
Glob. β rel. %	12	11	10
Glob. γ rel. %	24	24	10

passierten Weichen. Gewaschene Erythrocytensuspensionen weisen — wie theoretisch zu erwarten — wesentlich stärkere Anstiege dieser Meßgrößen auf.

Diskussion

Die Entnahme von Untersuchungsgut vom Patienten, die vorübergehende Aufbewahrung und der Transport zum Arbeitsplatz im Labor müssen als ein Teil der Analyse betrachtet werden. Ihre Handhabung muß mit der gleichen Sorgfalt vorgenommen werden, wie die Analyse im Laboratorium selbst, um eine optimale Zuverlässigkeit der Laboratoriumsdiagnostik zu erzielen. Trotz aller Bemühungen kann ein völlig störungsfreier Transport nicht erreicht werden. Jede Art von Transportsystem wird in Abhängigkeit von seinem technischen Aufbau Vor- und Nachteile für den Transport von Laboratoriumsmaterial aufweisen.

Bei der Benutzung der Rohrpost muß vor allen Dingen die Zerstörung der zellulären Anteile des Blutes und hier vor allen Dingen diejenige der quantitativ weit überwiegenden Erythrocyten als Störfaktor für die klinisch-chemische Analyse in Betracht gezogen werden. Der

Tab. 3

Meßergebnisse hämatologisch-serologischer Bestimmungen ohne und mit Rohrposttransport

	ohne Rohrposttransport	mit Rohrposttransport	mit Rohrposttransport	n
Geschwindigkeit	—	3 m/sec.	8 m/sec.	
Prothrombin-Zeit (%)	100	100	100	10
Thrombin-Zeit (%)	13,2	13,0 ± 0,6	14,6 ± 1	10
Recalcifizierungs-Zeit (Sek.)	86	111 ± 21	90 ± 11	10
Faktor V (Sek.)	36,4	36,5 ± 3,2	39 ± 2	10
Blutgruppen	—	unverändert	unverändert	10
Antistreptolysintiter (E)	40	40	40	10
Rheumafaktor (WAALER-ROSE)	1 : 32	1 : 32	1 : 32	10
Erythrocyten (Coulter-Counter)	4,5 · 10 ⁶	4,34 ± 0,1 · 10 ⁶	—	20*)
Leucocyten (Coulter-Counter)	6 · 10 ³	6,2 ± 0,4 · 10 ³	—	20**)
Thrombocyten in Heparinblut	206 · 10 ³	238 ± 39 · 10 ³	—	8

*) 20 Blutproben berechnet auf 4,5 · 10⁶ als Ausgangswert

**) 20 Blutproben berechnet auf 6000 als Ausgangswert

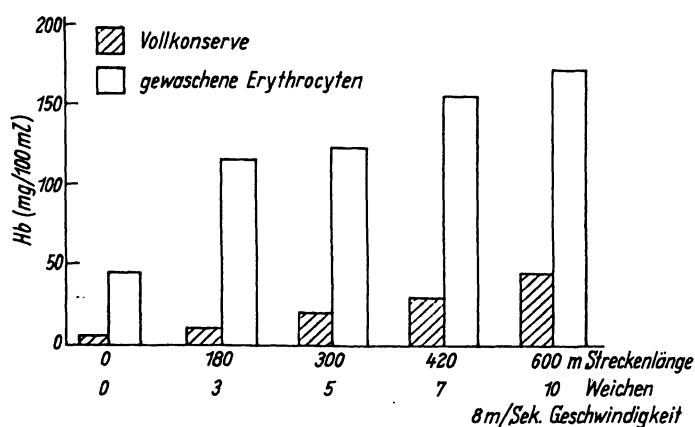


Abb. 5

Hämoglobinkonzentration im Überstehenden von Vollblutkonserven, die während des Rohrposttransportes ansteigenden mechanischen Belastungen ausgesetzt wurden. Transportgeschwindigkeit 8 m/Sek. (n = 2)

Eintritt erythrocyteneigener Substanzen in das Serum wird nur dann ins Gewicht fallen, wenn ein hoher Konzentrationsgradient zwischen Serum und Erythrocyt vorhanden ist. Wie aus Tabelle 4 hervorgeht, gilt dieses

Tabe. 4

Konzentrationsgradienten zwischen Erythrocyt und Plasma für erythrocyteneigene Komponenten nach CARAWAY (13). Errechnete Abweichungen von Meßergebnissen bei Hämolyseraten entsprechend 10 und 100 mg/100 ml Hb Plasma-Konzentration

Komponente	Konz. im Erythrocyt Konz. im Plasma	Errechnete Abweichung der Meßergebnisse im Plasma entsprechend einer Hb-Konzentration von:	
		10 mg/100 ml	100 mg/100 ml
Hb	10 ⁴	—	—
Arginase	10 ³	30,0%	300,0%
LDH	160	4,8%	48,0%
Saure Phosphatase	67	2,0%	20,0%
Kalium	22,7	0,7%	7,0%
GPT	6,7	0,2%	2,0%
GOT	40	1,2%	12,0%

aber vorwiegend nur für das Hämoglobin, die Arginase und mit Einschränkung für die LDH. Obwohl man nicht annehmen kann, daß sich für alle Substanzen gleiche Austrittsraten als Folge einer Wandschädigung der Erythrocyten finden, zeigen die Ergebnisse, daß tatsächlich das Hämoglobin und die LDH mit den höchsten Konzentrationsgradienten zuerst vermehrt im Serum gefunden werden und damit die empfindlichsten Parameter für eine Hämolyse darstellen. Ein meßbarer Anstieg der Kaliumkonzentration im Serum transportierter Blutproben konnte bei uns in allen gemachten Versuchen überhaupt nicht beobachtet werden. Lediglich in Blutkonserven, bei denen schon primär eine sehr hohe Kaliumkonzentration im Serum als Folge lagerungsbedingter Erythrocytenschädigung vorlag, fanden wir hohe Kaliumwerte im Überstehenden. Der Austritt von Hämoglobin in das Serum kann zu einer Verfälschung der Analyse führen, wenn photometrisch bei einer Wellenlänge zwischen 400 und 500 nm gearbeitet wird. Bei unverdünnten Seren würde ein solcher Irrtum beobachtet werden, wenn die Hämoglobinkonzentration im Serum 1 mg/100 ml überschreitet. Da aber im allgemeinen mit einer mindestens 10 mal höheren Verdünnung des Serums zu rechnen ist, kann man bis zu einer Konzentration von 10⁴ mg/100 ml Hämoglobin im Serum keine wesentlichen Störungen

der Analyse erwarten und falls solche auftreten, sie durch Mitführen von Blindwerten ausschalten. Unter den von uns gewählten Betriebsbedingungen von 3 m/Sek. Fahrgeschwindigkeit und 600 m weichenfreier Fahrstrecke war die entstehende Hämolyse im Hinblick auf die Meßergebnisse im Laboratorium belanglos. Der Vergleich der Hämoglobinwerte (Tab. 1) von Seren, die dem Rohrposttransport unterworfen waren, mit denjenigen, die an Serumproben gewonnen wurden, die mit dem Hol- und Bringedienst ins Labor transportiert wurden, zeigt, daß die Transportbedingungen einer Rohrpost bessere Resultate ermöglichen als ein Transport von Blutproben auf herkömmliche Weise. Auch unter extremen Bedingungen wie zum Beispiel Verlängerung der Fahrstrecke, Einschalten von Weichen, erhöhter Fahrgeschwindigkeit oder schlechter Füllung der Gefäße werden keine Hämoglobinkonzentrationen im Serum gemessen, welche zu einer sichtbaren Hämolyse führen. Diese ist erst bei Hämoglobinwerten über 20 mg/100 ml zu beobachten (14). Unter den Faktoren, die die Größe der Hämolyserate bestimmen, ist der Grad der Gefäßfüllung als entscheidend anzusehen. Schon bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten und beim Ausschalten von Weichen kommt es bei geringer Gefäßfüllung zu einer drei- bis vierfach höheren Hämolyserate als bei randvoll gefüllten Transportgefäßen. Dieser Effekt wird bei höheren Fahrgeschwindigkeiten und Einschalten von Weichen weiter verstärkt. Trotzdem haben wir Hämoglobinkonzentrationen über 10 mg/100 ml nur in seltenen Fällen, über 20 mg/100 ml überhaupt nicht gesehen. Wenn die oben angeführten Überlegungen hinsichtlich der Relation zwischen den Konzentrationen erythrocyteneigener Komponenten im Serum und dem ausgetretenen Hämoglobin zu Recht bestehen, dann müßte man in unseren Versuchsreihen keine oder nur geringfügige Veränderungen in den ermittelten Analyseergebnissen von Proben, die mit der Rohrpost transportiert waren, im Vergleich zu denen, die nicht transportiert waren, finden. In der Tat konnten bei keinem der geprüften Systeme (s. o.) Abweichungen von den Vergleichswerten, die den Bereich der angewandten Methoden überschreiten, festgestellt werden.

Besondere Kritik wird der Bestimmung des Eisens im Serum im Hinblick auf eine Verfälschung der Ergebnisse durch Hämolyse in der Blutprobe entgegengebracht. Kritisch wirkt sich eine Mikrohämolysen jedoch nur dann aus, wenn mit einer Eisenbestimmungsmethode gearbeitet wird, die das Hämeisen miterfaßt oder durch Gegenwart von Hämeisen gestört wird. Bei Anwendung der Eisenbestimmung nach TRINDER (15) mit Bathophenanthrolin-di-sulfonat ist dies nicht der Fall und eine Störung der Reaktion ist bis zur Serumkonzentration von 120 µg/100 ml Hämeisen entsprechend einer Hämoglobinkonzentration von 30 mg/100 ml nicht zu erwarten.

Die Ergebnisse von Untersuchungen von Serumweißkörpern, von denen besonders die Aktivitätsbestimmungen von Serumenzymen, immunologische Untersuchungsverfahren sowie die Analyse von Gerinnungs-

faktoren von Bedeutung sind, zeigen, daß ein Rohrposttransport von Blutproben nicht zu Alterationen dieser Eiweißkörper, welche die Analyse stören würden, führen. Gerade für die Analyse dieser Komponenten dürfte die Schnelligkeit, mit der der Transport erfolgt, ein wesentlicher Vorteil des Rohrposttransportes gegenüber der herkömmlichen Anlieferung darstellen, da die Denaturierungsrate dieser Eiweißkomponenten mit zunehmender Zeit in mehr oder weniger starkem Ausmaße ansteigt. Auch im hämatologischen Laboratorium finden Untersuchungsautomaten, welche mit ungerinnbarem Blut bzw. verdünnten Blutzellsuspensionen arbeiten, mehr und mehr Eingang. Diese Blutproben lassen sich leicht mit der Rohrpost zum Meßplatz im Labor überführen. Aus diesem Grunde wurden in unsere Versuchsreihen auch der Transport von Blutzellsuspensionen in physiologischer Kochsalzlösung für die Zählung am Coulter-Counter und von Heparinblut zur Thrombocytenzählung eingeschlossen. Auch für diese Untersuchungsverfahren kann ohne Beeinträchtigung der Analysenergebnisse die Rohrpost zum Transport des Untersuchungsgutes herangezogen werden.

Beim Versand von *Blutkonserven* muß mit einer stärkeren Hämolyse gerechnet werden, welche im wesentlichen durch die Vorschädigung der Erythrocyten infolge der Konservierung und Lagerung hervorgerufen sein dürfte. Die bei unseren Versuchen beobachteten Hämoglobinkonzentrationen im Überstehenden der Vollblutkonserven überschritten jedoch nicht einen Wert von 50 mg/100 ml. Dieser Wert schließt auch das haptoglobingebundene Hämoglobin ein, da bei der von uns verwandten Bestimmungsmethode das haptoglobingebundene Eisen mit erfaßt wurde. Bei einer normalen Haptoglobinkonzentration im Empfängerblutserum wie in der Blutkonserve werden diese Hämoglobinemengen an Haptoglobin gebunden und damit für den Empfängerorganismus unschädlich. Hingewiesen werden soll noch auf den recht hohen Kaliumspiegel, den wir schon primär im Überstehenden der Ganzblutkonserven fanden. Er überschreitet in einzelnen Fällen 8 mVal/l und wurde durch den Rohrposttransport nur noch geringfügig gesteigert. Das beobachtete Ausmaß von Hämolyse in Blutkonserven bei Rohrposttransport kann mit aller Wahrscheinlichkeit noch wesentlich verringert werden, wenn es gelingen würde, die Blutkonserven-

behälter randvoll zu füllen und damit den Schütteleffekt weitgehend zu eliminieren. Aufgrund der dargelegten Ergebnisse scheint es gerechtfertigt, den Transport von Konserven über ein Rohrpostsystem vorzunehmen. Die Ergebnisse der Versuche mit Fahrgeschwindigkeiten bis zu 8 m/Sek. lassen auch den Transport in einem allgemeinen Rohrpostsystem mit höheren Geschwindigkeiten möglich erscheinen. Allerdings dürfte der Rohrpostversand von gewaschenen Erythrocytensuspensionen nicht möglich sein.

Unsere Versuchsserie hat gezeigt, daß unter kontrollierten Betriebsbedingungen der Versand von Untersuchungsmaterial von den Stationen in das Laboratorium und von Blutkonserven innerhalb der Kliniken möglich ist. Ein solches Transportsystem läßt sich am besten in einer speziellen für den Transport für Laborgut bestimmten Leitung durchführen, die mit geringerer Fahrgeschwindigkeit unter Vermeidung von Weichen und Druckkammern betrieben werden kann. Da eine gleichmäßige Füllung der Gefäße zum Transport von Vollblut nicht immer erreicht werden kann, ist eine Reduzierung der auf das Untersuchungsgut während des Transportes einwirkenden mechanischen und kinetischen Kräfte wesentlich für einen störungsfreien Transportablauf. Die Empfangsstation sollte ein Abrollen ankommender Rohrpostbüchsen ermöglichen, um ein plötzliches Abstoppen der Rohrpostbehälter zu vermeiden. Die direkte Leitung von den Stationen zum Labor erlaubt außerdem einen unverzüglichen Transport der Rohrpostbüchsen zu Zeiten maximaler Belastungen des allgemeinen Rohrpostsystems und erleichtert wesentlich eine infolge von Behälterbruch etwa notwendige Reinigung oder Desinfektion der Fahrleitungen. Für den Transport von Laborgut empfiehlt sich eine 124 mm Rohrpostanlage, deren Behälterkapazität von 40 Probenröhrchen oder 27 Probenbüchsen den Arbeitsaufwand für Beladung und Entnahme in einem vertretbaren Rahmen hält, und damit den Rationalisierungseffekt der Rohrpost für die Arbeit auf Station und im Laboratorium voll zur Geltung kommen läßt.

Die Autoren sind Herrn Priv.-Dozent Dr. H. DEICHER und Herrn Priv.-Dozent Dr. H. POLIWODA für die Ausführung immunologischer und hämatologisch-serologischer Untersuchungen außerordentlich zu Dank verpflichtet. Den Herren P. HILGER, R. PAPST, P. J. ROCKEL und U. SCHRÖTER gilt unser Dank für sorgfältige technische Mitarbeit.

Literatur

1. McCLELLAN, E. K., R. NAKAMURA, W. HAAS, D. L. MOYER und G. M. KUNITAKE, Amer. J. Clin. Path. 42, 152 (1964). — 2. WU, H., J. Biochem. (Tokyo) 2, 189 (1923). — 3. CROSBY, W. H. und F. W. FURTH, Blood, 11, 380 (1956). — 4. DELBRÜCK, A., Klin. Wschr. 40, 677 (1962). — 5. RICK, W. und T. V. HAUSAMEN, Z. analyt. Chem. 212, 267 (1965). — 6. RICHTERICH, R., Klinische Chemie, Theorie und Praxis. Akademische Verlagsanstalt Frankfurt/Main, (1965). — 7. JENDRASSIK, L. und P. GROOF, Biochem. Z. 287, 81 (1938). — 8. FOLIN, O., Hoppe-Seyler's Z. physiol. Chem. 228, 268 (1934). — 9. WEICHSELBAUM, T. E., Amer. J. Clin. Path. Techn.

Section, 10, 40 (1946). — 10. SKEGGS, L. T. und H. HOCHSTRASSER, Ann. N. Y. Acad. Sc. 102, 144 (1962). — 11. KÖHLER, W., Die Serologie des Rheumatismus und der Streptokokkeninfektionen. Beiträge zur Hygiene u. Epidemiologie, Heft 9, 3rd Edition Leipzig (1963). — 12. SVARTZ, N. und K. SCHLOSSMANN, Acta med. Scand. 142, 420 (1952). — 13. CARAWAY, W. T., Amer. J. Clin. Path. 37, 44 (1962). — 14. BEHRENDT, H., Chemistry of erythrocytes, Thomas, Springfield, Ill. USA (1957). — 15. TRINDER, P., J. Clin. Path. London 9, 170 (1956).

Doz. Dr. A. Delbrück
Krankenhaus Oststadt
3 Hannover, Podbielskistr. 380